



DE3927476

Biblio

Beschr

Anspr

Seite 1

Zeichg



Drive torque and power measurement of electric motor - comprising drive train mechanical rotation frequency with motor stator field rotation frequency

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE3927476
Veröffentlichungsdatum : 1991-02-21
Erfinder : SCHAEPERMEIER EGBERT DR ING (DE); WIENDL JOSEF DR ING (DE)
Anmelder : GUENTHER & CO GMBH & CO (DE)
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE3927476
Aktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19893927476 19890819
Prioritätsaktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19893927476 19890819
Klassifikationssymbol (IPC) : G01L3/10; G01L3/24; G01P3/48; G01R23/02
Klassifikationssymbol (EC) : B23Q11/04, G05D17/02, H02P7/62D
Korrespondierende Patentschriften

Bibliographische Daten

Measuring torque and/or power of an electric motor involves tapping a mechanical rotation frequency from the drive train, comparing it with a second frequency and deriving the torque and/or power change from the difference for delivery to a display or process controller. The rotation frequency of the electric motor's rotating stator field is detected and compared with the mechanical rotation frequency detected from the drive train.
USE/ADVANTAGE - For cutting tool, without a rotation-elastic component, enabling efficient process control.

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3927476 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 39 27 476.4
㉑ Anmeldetag: 19. 8. 89
㉒ Offenlegungstag: 21. 2. 91

⑤ Int. Cl. 5:
G01L 3/10
G 01 L 3/24
G 01 P 3/48
G 01 R 23/02

DE 3927476 A1

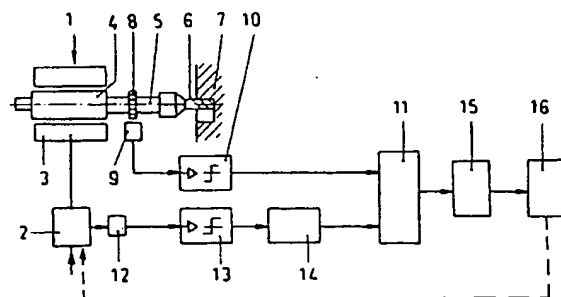
㉓ Anmelder:
Günther & Co GmbH & Co, 6000 Frankfurt, DE

㉔ Vertreter:
Katscher, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 6100 Darmstadt

㉕ Erfinder:
Schäpermeier, Egbert, Dr.-Ing., 6232 Bad Soden, DE;
Wiendl, Josef, Dr.-Ing., 6234 Hattersheim, DE

⑤④ Verfahren zur Drehmoment- und/oder Leistungsüberwachung von Antrieben

Bei der Drehmoment- und/oder Leistungsüberwachung von einem Elektromotor mit umlaufendem Statorfeld aufweisenden Antrieben wird im Antriebszug eine mechanische Drehfrequenz abgegriffen und mit der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes verglichen. Aus dem Frequenzvergleich wird ein den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entsprechendes Signal gewonnen und zu einer Anzeige und/oder Prozeßsteuerung ausgewertet. Hierzu wird am Elektromotor die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes erfaßt und mit der im Antriebszug abgegriffenen mechanischen Drehfrequenz verglichen. Die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes wird aus der Speisungsfrequenz des Elektromotors gewonnen.



DE 3927476 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Drehmoment- und/oder Leistungsüberwachung von einem Elektromotor mit umlaufendem Statorfeld aufweisenden Antrieben, wobei im Antriebszug eine mechanische Drehfrequenz abgegriffen und mit einer zweiten Drehfrequenz verglichen wird und wobei aus dem Frequenzvergleich ein den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entsprechendes Signal gewonnen und zu einer Anzeige und/oder Prozeßsteuerung ausgewertet wird.

In der Prozeßüberwachung, beispielsweise beim Einsatz von drehangetriebenen spanenden Werkzeugen, beim Einsatz von Rührwerkzeugen in der chemischen Verfahrenstechnik oder bei anderen Prozessen, für deren Durchführung ein Drehantrieb erforderlich ist, hat die Drehmoment- bzw. Leistungsüberwachung eine zunehmende Bedeutung erlangt. Diese Überwachung kann umso genauer erfolgen, je feinfühligere Änderungen des Drehmoments und/oder der Leistung erfaßt werden können.

Es ist bekannt, zu diesem Zweck die elektrische Spannung und den elektrischen Strom zu messen, mit denen der Elektromotor gespeist wird, um daraus das Drehmoment und die Leistung zu bestimmen. Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß die für die Bestimmung zu messenden elektrischen Signale in der Regel mit erheblichen Störsignalen behaftet sind. Kleine Drehmoment- bzw. Leistungsänderungen lassen sich auf diese Weise nicht genau erfassen, da sie als Differenz zweier Werte ermittelt werden, die selbst jeweils mit einer erheblichen Meßungenauigkeit behaftet sind.

Das von einem Elektromotor abgegebene Drehmoment bzw. die Leistung hängen sowohl von konstruktiven Auslegungsgrößen des Elektromotors als auch von den elektrischen Anschlußwerten ab. Eine absolute Messung des Drehmoments bzw. der Leistung macht es erforderlich, alle Einflußgrößen bei der Messung ausreichend genau zu berücksichtigen. Deshalb können geringe Änderungen des Drehmoments bzw. der Leistung, die bei der Prozeßüberwachung bereits von Bedeutung sind, auf dem Wege der absoluten Messung des Drehmoments und der Leistung nicht oder nur unzureichend erfaßt werden.

Um die bei einer Leistungsmessung auf der elektrischen Seite des Elektromotors auftretenden Störgrößen und Ungenauigkeiten auszuschalten, ist es bekannt, im mechanischen Teil des Antriebszuges, d. h. zwischen Elektromotor und angetriebenem Werkzeug eine Drehmomentmessung durchzuführen. Bei einem bekannten Verfahren der eingangs genannten Gattung (DE-OS 35 09 763) werden im mechanischen Antriebszug, beispielsweise an zwei im Abstand zueinander angeordneten Stellen einer auf Torsion beanspruchten Antriebswelle, zwei mechanische Drehfrequenzen abgegriffen und bezüglich der Phasenlage miteinander verglichen. Aus diesem Frequenzvergleich wird ein Signal gewonnen, das dem jeweiligen Drehmoment proportional ist. Unter Einbeziehung der gemessenen Drehfrequenz kann ein den auftretenden Drehmoment und/oder Leistungsänderungen entsprechendes Signal gewonnen und zu einer Anzeige und/oder Prozeßsteuerung ausgewertet werden.

Bei diesem bekannten Verfahren ist es erforderlich, im mechanischen Teil des Antriebszuges ein ausreichend drehelastisches Bauteil vorzusehen, damit die beiden gegeneinander phasenverschobenen Drehfrequen-

zen beiderseits dieses drehelastischen Bauteils abgegriffen werden können.

Dieses drehelastische Bauteil kann beispielsweise auch durch eine drehelastische Kupplung gebildet werden. Derartige drehelastische Kupplungen liefern mit hoher Auflösung ein für die Prozeßüberwachung gut verwertbares Signal.

Der Einsatz von drehelastischen Bauteilen im mechanischen Teil des Antriebszuges ist aber in vielen Fällen wegen des zusätzlichen Bauaufwandes und Platzbedarfs unerwünscht oder sogar technisch unmöglich. Dies gilt beispielsweise bei den für die Hochgeschwindigkeitszerspanung eingesetzten Hochfrequenzspindeln, bei denen der Rotor des Elektromotors unmittelbar die den Fräser oder Bohrer tragende Werkzeugspindel bildet. Ein drehelastisches Bauteil ist hierbei nicht vorhanden und kann aus konstruktiven Gründen auch nicht vorgesehen werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Gattung so auszubilden, daß mit möglichem geringem zusätzlichem Bauaufwand, insbesondere ohne die Notwendigkeit eines drehelastischen Bauteils im mechanischen Teil des Antriebszuges, ein Signal mit hoher Auflösung gewonnen werden kann, das den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entspricht und daher eine sehr wirksame Prozeßüberwachung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß am Elektromotor die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes erfaßt und mit der im Antriebszug abgegriffenen mechanischen Drehfrequenz verglichen wird, um das den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entsprechende Signal zu gewinnen.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß das umlaufende magnetische Statorfeld, das den Rotor des Elektromotors mitnimmt, im gesamten Antriebszug zwischen der elektrischen Speisung und dem angetriebenen Werkzeug ein elastisches Glied darstellt, dessen "Verformung" in sehr einfacher Weise und mit hoher Genauigkeit und Auflösung dadurch erfaßt werden kann, daß einerseits die Drehfrequenz des elektrischen und damit auch des magnetischen Statorfeldes und andererseits die mechanische Drehfrequenz auf der Abtriebsseite des Elektromotors erfaßt werden. Aus dem Vergleich dieser beiden Drehfrequenzen erhält man einen Winkelversatz (bei einem Elektromotor mit Synchronverhalten) bzw. einen Schlupf (bei einem Motor mit Asynchronverhalten). Die so erhaltenen Werte entsprechen bei kleinen Änderungen dem vom Elektromotor abgegebenen Drehmoment- bzw. Leistungsänderungen.

Vorzugsweise wird die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes aus der Speisungsfrequenz des Elektromotors gewonnen. Dadurch entfällt ein das Statorfeld unmittelbar erfassender Sensor. Das Frequenzsignal des Statorfeldes liegt in der Steuerung des Elektromotors bereits vor, beispielsweise als Frequenzregelsignal eines frequenzgeregelten Elektromotors. Es ist somit nur noch erforderlich, die mechanische Drehfrequenz des Motors abzugreifen. Dies kann mit einem gesonderten Sensor erfolgen, der ein umlaufendes Teil des Rotors abtastet. Hierfür kann aber auch der bei vielen Bauarten von geregelten Elektromotoren ohnehin vorhandene Rotorfrequenzgeber bzw. Rotorlagegeber verwendet werden, so daß für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens keine zusätzlichen Bauteile erforderlich sind.

In jedem Fall ist der für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erforderliche zusätzliche Platzbedarf äußerst gering. Das Verfahren kann deshalb besonders vorteilhaft auch bei Hochfrequenzspindeln für die spanende Hochgeschwindigkeitsbearbeitung eingesetzt werden, bei denen die Notwendigkeit für eine besonders feinfühlige und schnell ansprechende Prozeßüberwachung besteht.

Beim Einsatz an einem Elektromotor mit Synchronverhalten (Synchronmotor) wird vorzugsweise aus der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes und der mechanischen Drehfrequenz eine Summen- oder Differenzfrequenz gebildet, die mit einer der beiden Drehfrequenzen multipliziert wird. Eine Schaltungsanordnung hierfür ist beispielsweise in der DE-OS 35 09 763 beschrieben.

Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens an einem Elektromotor mit Asynchronverhalten (Asynchronmotor) ist in Ausgestaltung des Erfindungsgedankens vorgesehen, daß die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes als Zeitbasis für die Messung der mechanischen Drehfrequenz verwendet wird.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 ein vereinfachtes Schaltbild einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem Hochfrequenzmotor mit Asynchronverhalten,

Fig. 2 ein vereinfachtes Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem Elektromotor mit Synchronverhalten (Synchronmotor),

Fig. 3 ein Diagramm des mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelten Drehmomentverlaufs beim Bohren und

Fig. 4 ein Diagramm des mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelten Drehmomentverlaufs bei einem Rührprozeß.

Fig. 1 zeigt in vereinfachter Darstellungsweise einen Elektromotor 1 zum Antrieb einer Hochfrequenzspindel, der im Drehzahlbereich von etwa 20 000–120 000 Umdrehungen pro Minute arbeitet. Der Elektromotor weist einen von einem Frequenzumformer 2 gespeisten Stator 3 auf, der ein umlaufendes magnetisches Drehfeld erzeugt, und einen Rotor 4. Der Rotor 4 bildet einen Teil einer Hochfrequenz-Werkzeugspindel 5, die bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel einen Fräser 6 als Werkzeug für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung eines nur schematisch angedeuteten Werkstücks 7 trägt.

Zwischen dem umlaufenden Statorfeld und dem Rotor 4 besteht ein Schlupf, der sich unter Belastung vergrößert. Zwischen diesem Schlupf und dem auf den Rotor 4 ausgeübten Drehmoment besteht bei kleinen Änderungen ein annähernd linearer Zusammenhang.

Der Frequenzumformer 2 liefert eine elektrische Frequenz, die für die Zwecke der Prozeßüberwachung als konstant angesehen werden kann und die der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes gleich ist.

Auf der Spindel 5 ist ein Zahnrad 8 angebracht, das von einem Sensor 9 berührungslos abgetastet wird. Der Sensor 9 enthält beispielsweise einen Hallgenerator, der ein Frequenzsignal der mechanischen Drehfrequenz der Spindel 5 und somit des Rotors 4 liefert.

Dieses Frequenzsignal wird in einem Signalumformer 10, der beispielsweise einen Verstärker und einen Pulsformer enthält, aufbereitet und einem Frequenzmesser 11 zugeführt.

Die vom Frequenzumformer 2 gegebenenfalls über

einen weiteren Sensor 12 gelieferte Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes wird ebenfalls einem Signalumformer 13 zugeführt, wo das Frequenzsignal aufbereitet wird. Dieses Frequenzsignal erzeugt in einem Zeitbasisgenerator 14 eine Zeitbasis, die dem Frequenzmesser 11 zugeführt wird. Dort erfolgt eine Messung der vom Sensor 9 gelieferten mechanischen Drehfrequenz innerhalb der vom Zeitbasisgenerator 14 in Abhängigkeit vom Signal der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes erzeugten Zeitbasis. Im Frequenzmesser 11 werden beispielsweise die während eines Umlaufs des Statorfeldes am Sensor 9 vorbeilaufenden Zähne des Zahnrades 8 gezählt.

Das Ausgangssignal des Frequenzmessers 11 wird über eine digitale und/oder analoge Signalverarbeitungseinrichtung 15 einer Auswerteeinheit und/oder Anzeigeeinheit 16 zugeführt und dort für die Prozeßüberwachung ausgewertet bzw. angezeigt. Beispielsweise kann die Auswerteeinheit 16 bei Überschreiten einer vorgegebenen Signalschwelle, die einer bestimmten Drehmomentveränderung an der Spindel 5 entspricht, ein Steuersignal an den Frequenzumformer 2 liefern, um den Elektromotor abzuschalten, wenn eine solche Drehmomentänderung als Hinweis auf einen Werkzeugbruch oder fortgeschrittenen Werkzeugverschleiß anzusehen ist.

Fig. 2 zeigt in einem vereinfachten Blockschaltbild eine Schaltungsanordnung zur Auswertung der Frequenzsignale, die bei einem (nicht dargestellten) Elektromotor mit Asynchronverhalten (Asynchronmotor) erhalten werden. Auch hierbei liefert ein Sensor 9 über einen Frequenzumformer 10 ein der mechanischen Drehfrequenz des Rotors entsprechendes Frequenzsignal S1. Ein Sensor 12 liefert über einen Signalumformer 13 ein der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes entsprechendes Frequenzsignal S2.

Aus den beiden Signalen S1 und S2 wird ein neues Signal S3 erzeugt, dessen Frequenz der Summen- oder Differenzfrequenz der in den Signalen S1 und S2 enthaltenen Drehfrequenzen entspricht. Außerdem werden die Signale S1, S2 und S3 zeitlich in eine bestimmte Beziehung gesetzt. Die Signale S1, S2 und S3 werden einem Multiplizierer 17 zugeführt.

Die Signale S1 und S2 werden einem Frequenzumsetzer 18 zugeführt, der das Signal S3 liefert. Im Frequenzumsetzer 18 ist ein Taktgenerator 19 vorgesehen, der über eine Phasenregelschleife auf die Frequenz des Signals S1 oder S2 synchronisiert wird. Die erhaltene Frequenz wird durch einen direkten Frequenzteiler 20 geteilt. Über eine Schaltung 21 wird die Pulsmitte des Signals S3 mit den Signalen S1 und S2 zeitlich verknüpft. Die Phasenregelschleife besteht aus dem Taktgenerator 19, einem direkten Frequenzteiler 22, einem Phasenkomparator 23 und einem Tiefpaßfilter 24.

Das Ausgangssignal des Multiplizierers 17, in dem die Summen- oder Differenzfrequenz mit einer der beiden Drehfrequenzen multipliziert wird, wird einer Auswerteeinheit und/oder Anzeigeeinheit 25 zugeführt und kann in der schon beschriebenen Weise zur Prozeßüberwachung ausgewertet werden.

Bei der Anwendung des Verfahrens bei einem Motor mit Synchronverhalten (Synchronmotor) besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Drehmoment und dem Winkelversatz zwischen Statorfeld und Rotor. Dadurch läßt sich die Veränderung des Drehmoments bzw. der Leistung allein über diesen Winkelversatz messen. Die Art der Messung hat außerdem den Vorteil, daß Störsignale durch die Rotorträgheit ausge-

filtert werden. Diese Störsignale liegen im starken Maße auf der elektrischen Seite des Elektromotors 1 an. Der Rotor bildet hierbei ein mechanisches Tiefpaßfilter. Aus dem ermittelten Drehmoment bzw. den Drehmomentänderungen lassen sich durch Multiplikation mit der ebenfalls jeweils ermittelten Drehfrequenz unmittelbar die Leistung bzw. die Leistungsschwankungen ermitteln.

Eine Möglichkeit zur Auswertung der bei einem Asynchronmotor erhaltenen Frequenzsignale besteht darin, der Rotorfrequenz jeweils eine Differenzfrequenz in der Weise aufzuaddieren, daß die Summe der gemessenen Starterfrequenz entspricht. Die Summenfrequenz wird — beispielsweise nach dem aus der DE-OS 35 09 763 bekannten Verfahren — mit hoher Genauigkeit auf die Drehfrequenz des Statorfeldes synchronisiert. Damit ergibt sich mit hoher Genauigkeit eine Messung der Schlupffrequenz des Asynchronmotors. Diese Schlupffrequenz ist unmittelbar proportional der jeweiligen Leistungsänderung. Im Gegensatz zu einer absoluten Messung, bei der alle Einflußgrößen mitberücksichtigt werden müssen, erfolgt hierbei eine Relativmessung.

Fig. 3 zeigt als Anwendungsbeispiel den Drehmomentverlauf beim Bohren. Das Drehmoment M ist hierbei über dem Bohrweg s aufgetragen.

Bei s_1 wird der Vorschub eingeschaltet. Das Drehmoment M steigt während des Anbohrens bis zum Vorschubweg s_2 an. Während des anschließenden Bohrvorgangs bleibt das Moment M unter normalen Arbeitsbedingungen etwa konstant, bis die Bohrspitze bei s_3 an der Rückseite des Werkstücks austritt. Beim Ausbohren sinkt das Moment M wieder ab.

Mit gestrichelter Linie ist in Fig. 3 der Drehmomentverlauf bei einem Bohrer eingezeichnet, der gegenüber dem mit ausgezogener Linie dargestellten Verlauf einen erhöhten Verschleiß aufweist. Die Änderung des Drehmoments infolge des eingetretenen Verschleißes kann mit dem beschriebenen Verfahren erfaßt und zur Prozeßüberwachung herangezogen werden, beispielsweise indem der Bohrer ausgewechselt wird, wenn eine vorgegebene Schwelle der möglichen Drehmomenterhöhung überschritten ist, was ein Anzeichen für einen eingetretenen Verschleiß darstellt.

Zweckmäßigerweise erfolgt ein Vergleich der Schlupffrequenz beim scharfen Werkzeug mit der beim Auftreten von Verschleiß vorhandenen Schlupffrequenz, um auf den Verschleißzustand des Werkzeugs schließen zu können. Voraussetzung hierfür ist, daß nur die Schlupfdifferenzen für den Vergleich herangezogen werden, die sich allein durch den Bearbeitungsprozeß ergeben. Dies kann durch Nullsetzen vor jedem Bearbeitungsvorgang sichergestellt werden.

Durch Messen der Motorschlupffrequenz unmittelbar vor der Bearbeitung wird eine Frequenzdifferenz ermittelt. Während der Bearbeitung wird ständig dieser immer wieder neu ermittelte Wert von dem unter Belastung festgestellten Frequenzwert subtrahiert. Der Verschleiß läßt sich danach durch den Vergleich der beim verschlissenen und scharfen Werkzeug ermittelten Werte bestimmen.

Das beschriebene Verfahren kann auch zur Überwachung des Zeitspannvolumens herangezogen werden. Insbesondere beim Betrieb von NC-gesteuerten Maschinen wird in zunehmendem Maße das Zeitspanvolumen als Optimierungsgröße anstelle von Schnittgeschwindigkeit und Vorschubgeschwindigkeit eingesetzt. Unter der Voraussetzung, daß keine oder nur geringe

Änderungen durch Verschleiß eintreten, kann aus einer festgestellten Drehmomentänderung auf eine Änderung des Zeitspannvolumens geschlossen werden. Der Bearbeitungsvorgang kann dann so optimiert werden, daß beispielsweise die Forderung nach konstantem Zeitspanvolumen erfüllt werden kann.

Fig. 4 zeigt den Verlauf des Drehmoments M über der Zeit t bei einem Rührprozeß.

Beispielsweise beim Rühren einer Mixtur wird jeweils das Rührmoment erfaßt. Während zu Prozeßbeginn nur ein mechanisches Vermischen mit geringerem Momentbedarf erfolgt, steigen die Vermischungskräfte und somit das erforderliche Drehmoment an, wenn chemische Reaktionen einsetzen. Beim Abschluß der chemischen Reaktion erfolgt keine Zunahme der Vermischungskraft und damit des Drehmoments mehr. Danach sinkt das Drehmoment ab, da die zugeführte Rührleistung nur noch zur Erwärmung führt. Der Rührprozeß kann daher beispielsweise nach Überschreiten des höchsten Drehmoments im Zeitpunkt t_1 abgeschaltet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Drehmoment- und/oder Leistungsüberwachung von einem Elektromotor mit umlaufendem Statorfeld aufweisenden Antrieben, wobei im Antriebszug eine mechanische Drehfrequenz abgegriffen und mit einer zweiten Drehfrequenz verglichen wird und wobei aus dem Frequenzvergleich ein den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entsprechendes Signal gewonnen und zu einer Anzeige und/oder Prozeßsteuerung ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, daß am Elektromotor die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes erfaßt und mit der im Antriebszug abgegriffenen mechanischen Drehfrequenz verglichen wird, um das den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entsprechende Signal zu gewinnen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes aus der Speisungsfrequenz des Elektromotors gewonnen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanische Drehfrequenz von einem mit dem Rotor des Elektromotors verbundenen Rotorfrequenzgeber ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Elektromotor mit Synchronverhalten (Synchronmotor) verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Vergleich der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes mit der mechanischen Drehfrequenz der Winkelversatz zwischen dem umlaufenden Statorfeld und dem Rotor ermittelt und als das den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entsprechende Signal ausgewertet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes und der mechanischen Drehfrequenz eine Summen- oder Differenzfrequenz gebildet wird, die mit einer der beiden Drehfrequenzen multipliziert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Elektromotor mit Asynchronverhalten (Asynchronmotor) verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Vergleich der Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes mit der mechanischen Drehfrequenz der Schlupf zwischen dem umlaufenden Statorfeld

und dem Rotor ermittelt und als das den auftretenden Drehmoment- und/oder Leistungsänderungen entsprechende Signal ausgewertet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehfrequenz des umlaufenden Statorfeldes als Zeitbasis für die Messung der mechanischen Drehfrequenz verwendet wird. 5

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

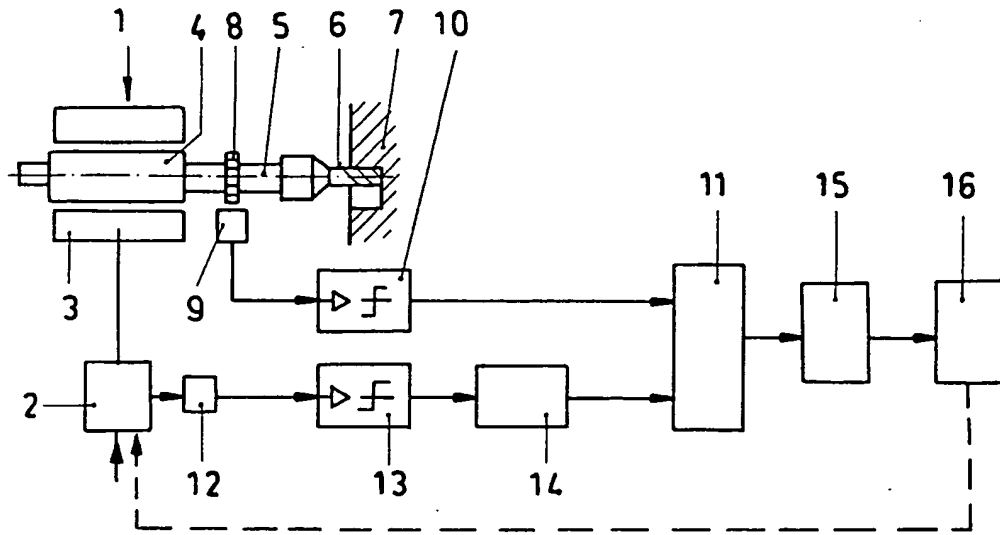


FIG. 1

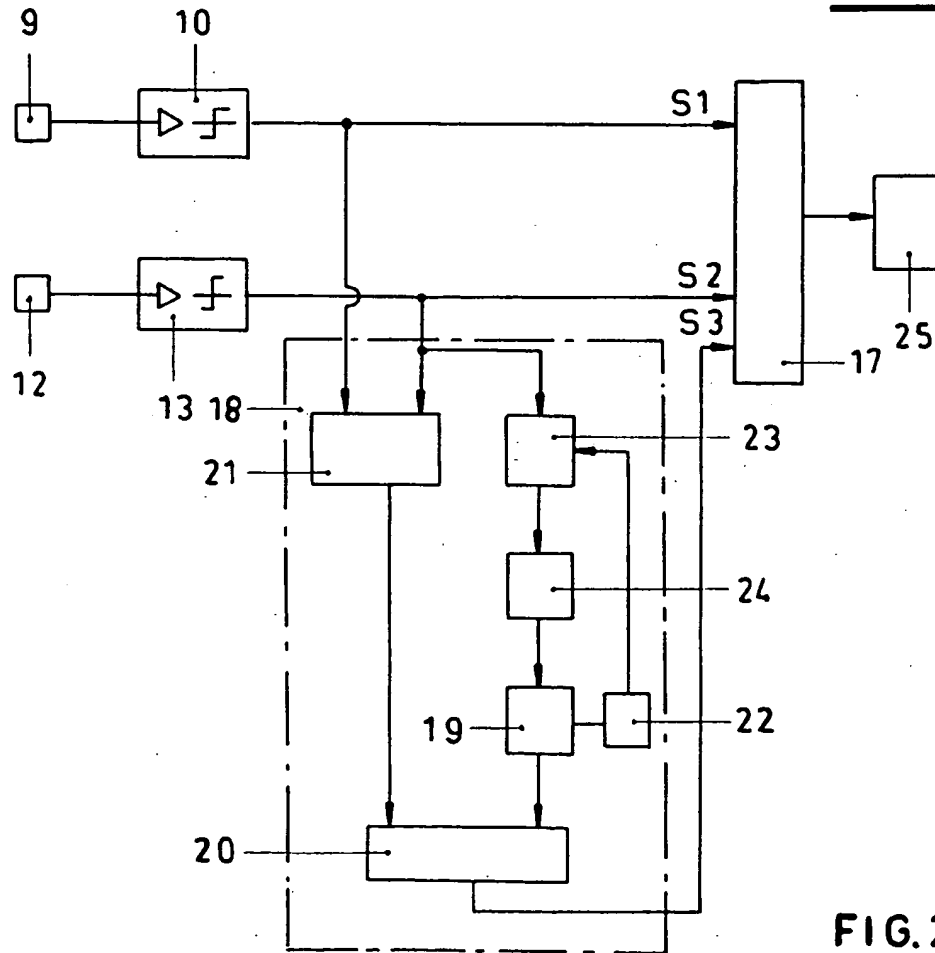


FIG. 2

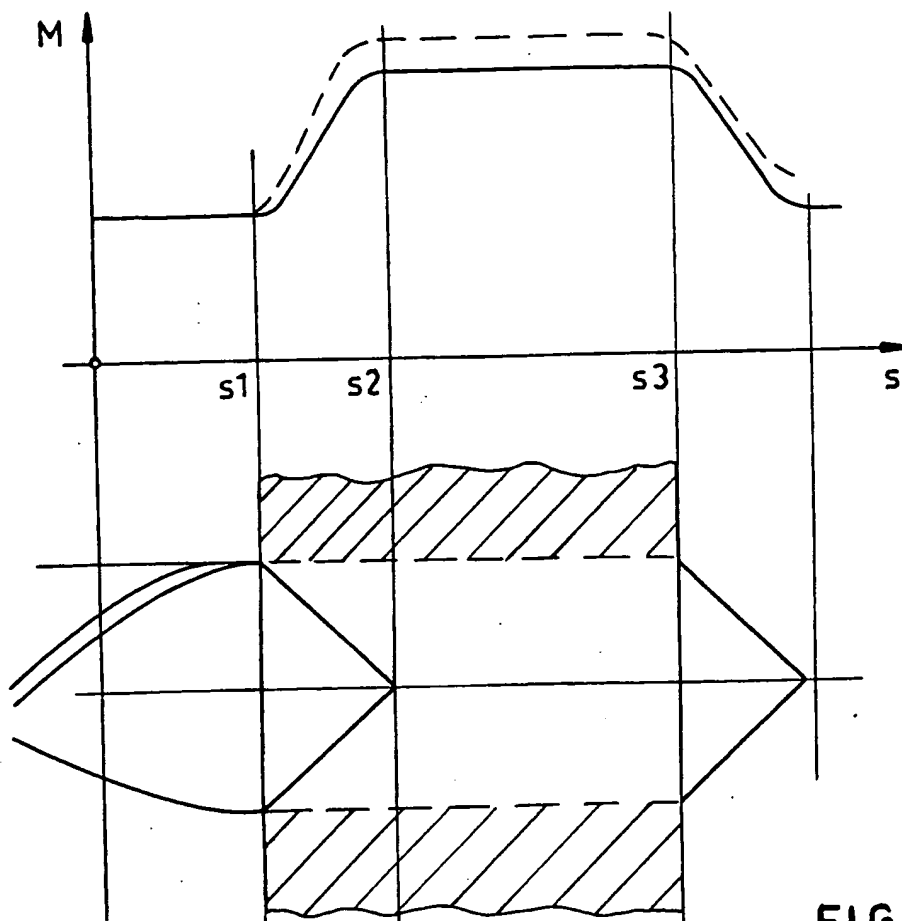


FIG. 3

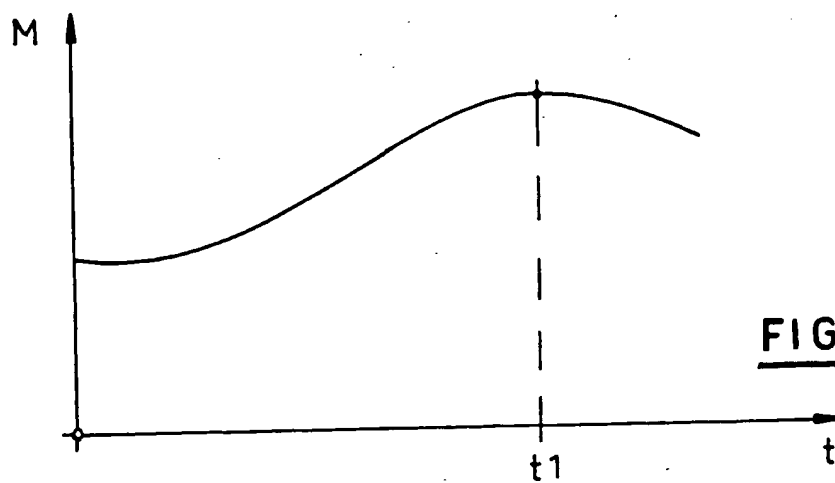


FIG. 4